Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

Producción de Biodiésel en México: Estado Actual y perspectivas

Biodiésel Production in Mexico: Current Status and Perspectives

[a] Dra. Denis Aidee Cabrera-Munguia

[a] Dr. Adolfo Romero Galarza*

[b] Raquel Abigail López Montes,

[a] Dr. Leopoldo Javier Rios González

[c] Dra. Zenaida Carolina Leyva Inzunza

[a] Profesor-Investigador Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila

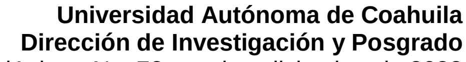
[b] Estudiante de licenciatura de la carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila

c Profesor-Investigador Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada-IPN, Unidad Legaria, CDMX

* Autor de correspondencia: a_romero@uadec.edu.mx

ORCID ID: 0000-0001-8215-2566





CienciAcierta

CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo hacer una revisión de la situación actual en la producción de biodiésel en México. Los temas que se desarrollan son los siguientes: Tipos de recursos (biomasa) disponible para la producción de biodiésel. En ese contexto se expone los tipos de cultivos con el mayor potencial para la generación del biocombustible en el territorio nacional. También se menciona información relevante de las empresas involucradas en la cadena de generación de biodiésel en México. Por otra parte, se hace una revisión sobre catalizadores sólidos empleados en la reacción de transesterificación de aceites para la producción de biodiésel, así como las operaciones involucradas en la separación del subproducto glicerol. Finalmente se expone estatus y perspectivas de la elaboración de biodiésel a partir de aceites vegetales no comestibles en México.

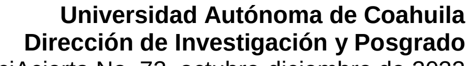
Palabras clave: Biodiésel, catalizador, transesterificación, cultivos no comestibles

Abstract

The goal of the present paper is to review the current situation in the production of biodiésel in Mexico. The topics that are developed are the following: Types of resources (biomass) available for the production of biodiésel. In this context, the types of crops with the greatest potential for the generation of biodiésel in the national territory are exposed. Relevant information on the companies involved in the biodiésel generation chain in Mexico is also mentioned. On the other hand, a review is made about solid catalysts used in the transesterification reaction of oils for the production of biodiésel, as well as the operations involved in the separation with the sub-product glycerol. Finally, the status and perspectives of biodiésel from non-edible vegetable oils in Mexico are showing.

Keywords: Biodiésel, catalyst, transesterification, non-edible crops





Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

1. Recursos para la producción de biodiésel en México

En los últimos años es de prioridad mundial la problemática del cambio climático dada a la alta emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que son expulsados a la atmósfera por la quema de combustibles líquidos de origen fósil como gasolina y diésel, de tal suerte que se requiere transitar a una nueva generación de combustibles limpios. En este sentido México firmó el Acuerdo de Paris con miras a reducir el impacto climático producido por esos gases en los próximos años, a través de la mitigación y la adaptación, comprometiéndose a reducir 22% de GEI para el año 2030 de acuerdo con lo reportado en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2012). Con base a la Reforma Energética el gobierno de México ha impulsado diversas iniciativas a fortalecer las capacidades científicas y tecnológicas para desarrollar la producción de combustibles no fósiles (limpios). Una de las iniciativas consideradas estratégicas es la creación de los Centros Mexicanos de Innovación en Energía (CEMIEs), que desde 2016 el Clúster Biodiésel Avanzado (Clúster BDA) inició operaciones y que dentro de sus objetivos busca desarrollar, asimilar y validar tecnologías de vanguardia para la producción de biodiésel a partir principalmente de aceite de higuerilla, jatropha y palma. Los Centros Mexicanos de Innovación en Energía (CEMIEs), los cuales están conformadas por tres centros públicos de investigación, dos instituciones de educación superior y cinco empresas privadas,

El Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) es líder de este proyecto apoyado con fondos de CONACYT y SENER. Las empresas privadas participantes son Green Fuel, Greasenol, Xnax, CEO Fuel y SOLBEN.

Otro proyecto interesante que está actualmente se encuentra en desarrollo es el que se lleva a cabo en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) campus Morelia cuyo objetivo es recolectar aceite de cocina quemado de los



CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

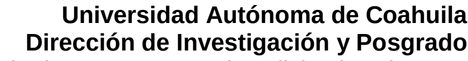
comercios y convertirlo en biodiésel, el cual se busca como primera etapa utilizarlo en el transporte de la universidad en dicho campus.

La biomasa se puede clasificar 1ª, 2ª y 3ª generación dependiendo el origen y el tipo de procesamiento requerido para la generación de biodiésel. La materia prima de 1ª generación está conformada por ácidos grasos que están presentes en los lípidos de animales o en los aceites de las semillas de vegetales comestibles y frutos oleaginosos. En tanto a los de 2ª generación es materia lignocelulósica (no comestible) vegetales, residuales o cultivados, cuyos triglicéridos pueden ser transformados a productos de alto valor agregado como por ejemplo la producción de Naftas a partir de un reformado del biogás seguido por la síntesis de Fischer Tropsch. Los de 3ª generación son cultivos de microorganismos por ejemplo microalgas las cuales son modificadas con el propósito de que generen lípidos o ácidos grasos para su posterior transformación a biodiésel. A continuación, se comentará de los recursos disponibles en México de 1ª y 2ª generación como materia prima para la producción de biodiésel.

1.1 Materia prima 1ª generación

El biodiésel generado a partir de materia prima de 1ª generación no ha sido bien aceptado en los últimos años debido el alza en los precios que estos aceites han venido presentando. Tan solo el costo del aceite vegetal representa entre el 75 al 88% del costo de producción del biodiésel (Haas y col., 2006). En México los cuatro principales cultivos oleaginosos comestibles para fines alimenticios e industriales son: coco, girasol, soja y palma. Este último se considera el cultivo de primera generación con gran potencial en la producción de biodiésel en el país de acuerdo con los datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2018).

Se proyecta para el 2030 que la superficie cultivada (hectárea) y producción de aceite (m^3 equivalente) para cada cultivo sea el siguiente de acuerdo con los datos


Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848



de la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA: Oleaginosas mexicanas, 2017):

- Coco: 16,000 hectáreas y 42,560 m^3 equivalente
- Girasol: 23,000 hectáreas y 17,204 m^3 equivalente
- Palma: 95,000 hectáreas y 371,925 m^3 equivalente
- Soja: 370,000 hectáreas y 174,048 m^3 equivalente

1.2 Materia prima 2ª generación

Dentro de los cultivos de segunda generación que se utilizan en México para la producción de biodiésel son principalmente Jatropha (piñón mexicano) y la higuerilla (Ricinus communis).

Como antecedentes se tiene que en el año 2013 la superficie cultivada de Jatropha fue de 1014 hectáreas y una producción de 648 m^3 equivalentes de aceite. Para el siguiente año (2014) hubo una gran disminución en área cultivada y en la producción siendo de 50 hectáreas y 14 m^3 equivalente de aceite respectivamente. Esta considerable disminución se debió a que en 2014 se abandonaron las plantaciones en Yucatán. En el 2016 se tiene reportado una siembra de este cultivo de 282 hectáreas. Actualmente en México se ha desarrollado tres variedades de jatropha con rendimientos de alrededor de 3ton/ha de grano. Con respecto al cultivo de higuerilla en 2016 se tiene registrado un total de 9,520 hectáreas sembradas. En 2017 la producción de higuerilla fue de 3.5 mil toneladas, bajo la modalidad de riego en su totalidad. En México, la higuerilla solo se cosecha en dos entidades; Sonora, quien aportó 65.6% del volumen total y Nayarit, con el 34.4% restante (SAGARPA, 2017). Es un hecho que aún no se ha obtenido los rendimientos de aceite esperados con los cultivos de jatropha e higuerilla, entre las razones principales se tiene que cuando las plantas crecen en tierras degradadas o con poca agua los rendimientos de aceite son bajos. Como alternativas que se han propuesto para que estos cultivos



Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

sean atractivos para la producción de biodiésel es encontrar nuevas variedades con alto rendimiento de aceite y/o modificar genéticamente los cultivos existentes y proporcionar características adecuadas para la generación de aceite. Por otra parte, se ha propuesto dar un enfoque de bio-refinería donde se aproveche todas las fracciones de la planta y semilla resultando en una mejora de costos y emisiones de gases de efecto invernadero.

En los últimos años la SAGARPA ha apoyado a dos empresas (ENRIMEX y RICINOMEX) que en conjunto tiene una producción de 2,440 m^3 de aceite. Aunque estos cultivos se han planteado como posibles alternativas a los cultivos oleaginosos tradicionales sus aportes a la producción nacional de aceites son bajos, y sus tendencias aun indefinidas. Sin embargo, el gobierno de México planea, a través de la Reforma Energética y la Planeación Agrícola Nacional incrementar la producción de biodiésel a partir de cultivos de higuerilla, jatropha y palma. A continuación, se hace el comparativo entre la producción de biodiésel en 2016 y con una proyección hacia el 2030 (SAGARPA, 2017).

- Higuerilla: 4.26 millones de litros (año 2016) → 9.08 millones de litros (año 2030)
- Jatropha: 0.03 millones de litros (año 2016) → 0.1 millones de litros (año 2030)
- Palma: 238.35 millones de litros (año 2016) → 358.98 millones de litros (año 2030)

Otra fuente de 2ª generación para la producción de biodiésel utilizada en México es a partir de grasas de animales y aceites y grasas de desecho. Con respecto a las grasas de animales se pueden utilizar la grasa de pollo, el sebo de res y la grasa de cerdo. Estas materias primas se obtienen de plantas que procesan grasas de



Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

carnicería y en rastros. En México existe técnicamente la posibilidad de producir biodiésel a partir de grasas de animales ya que al año se obtiene entre 176 y 215 mil toneladas, que podrían convertirse en biodiésel con una producción anual de alrededor de entre 154,000 a 194,000 m^3. Sin embargo, actualmente la producción de biodiésel a partir de este tipo de materia prima México es muy bajo, algunas de las razones son las siguientes: Las grasas animales tienen alta demanda en la industria de los cosméticos, de alimentos (principalmente para mascotas) y entre otras. De tal suerte que este tipo de usuarios tiene mayor capacidad y facilidad de pago con respecto a los potenciales productores de biodiésel. Con respecto a la producción de biodiésel a partir de aceites y grasas de desecho se tiene el inconveniente que el costo de estas materias primas va de un costo negativo debido a que quienes las generan deben de pagar para disponer del residuo. Sin embargo, aun con los inconvenientes mencionados anteriormente está vigente la oportunidad de desarrollar estos mercados en México ya que hay un déficit de combustibles fósiles como carbón, gasolinas y diésel.

2. Cultivos para producción de Biodiésel.

En el territorio mexicano existe alrededor de 13 millones de hectáreas para el cultivo de oleaginosas como palma, coco, soja, girasol, higuerilla y jatropha, las cuales se pueden destinar específicamente para la producción de biodiésel (SAGARPA: Oleaginosas maexicanas, 2017). Actualmente los cultivos empleados para la producción de biodiésel es palma, higuerilla y jatropha. En México han existido empresas productoras de biodiésel de cultivos bioenergéticos (palma e higuerilla), sin embargo, se han registrado fracasos. Como antecedentes tenemos la empresa ubicada en Lázaro Cárdenas, Michoacán, la cual se inauguró en 2007 instalándose anexa a una empresa de aceite vegetal. Esta empresa utilizaba como materia prima el aceite de higuerilla, pero la escasez de este producto provocó el cierre en el año de 2008 [MORECO]. Otro caso registrado fue la fábrica en Cadereyta, Nuevo León, establecida en 2015 por Grupo Energéticos y el ITESM Campus Monterrey, cabe





Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

mencionar que en esta fábrica empleaban tanto grasas animales y aceites vegetales como materia prima, tenía una capacidad de producción de 18,000 m^3/año de biodiésel, pero dejó de operar en 2011 (El Economista, 2011). Como último se tiene el caso en el Instituto de Bioenergéticos de Chiapas que en el año de 2010 logró la instalación de una planta que producía 10,000 m^3/año de biodiésel, la cual usaba Jatropha como materia prima, pero la producción de la semilla no fue suficiente y condujo al cese de operación en 2011 (Prehn y Cumana, 2010).

A pesar de todos los retos que implica la producción de biodiésel, ya es una realidad en México. Al día de hoy existen 7 empresas en operación que lideran la cadena de producción de biodiésel (producción, recolección y generador de tecnología) en el país, cuya capacidad de producción en conjunto generan alrededor de 5,277 m^3/año. A continuación, se describe aspectos generales de las empresas mencionadas.

- **Probioram S. de R.L. de M.I** es una empresa en el estado de Puebla que entró en operaciones en el año 2013 la cual utiliza como materia prima grasa animal para la producción de biodiésel.
- **RicinoMex** fue inaugurada en el año 2017 en el estado de Oaxaca, como iniciativa para construir unas bio-refinería de higuerilla, gestionando la vinculación con los agricultores de la región para la siembra de higuerilla e inicia la construcción de la nave industrial. Actualmente sigue impulsando la siembra de higuerilla y la producción de biodiésel y aceite de ricino procesando alrededor de 60 toneladas al día.
- **Cooperativa Agrícola Luz Michell S.C. de R.L. de C.V.** ubicada en el estado de Durango actualmente es una las grandes productoras de biodiésel en México la cual empezó operaciones en 2015. Es una empresa que utiliza como materia prima grasas animales y aceite de semilla de algodón.
- **CEDA** es una planta que comenzó operar en 2020 en la Central de Abastos (CEDA) de la alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México (CDMX), apoyado por el



Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

gobierno de CDMX a través de la Secretaria de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTEI) y por el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Es una planta con gran capácidad de producción que convierte el aceite comestible residual de los hogares, restaurantes o industrias alimenticias, en biodiésel.

- **Enrimex** se encuentra localizada al norte del estado de Baja California, es productora de biodiésel desde 2014 empleando el aceite de la semilla de higuerilla como materia prima.
- **Grima biodiésel** es una empresa que empezó operar en 2010 en el estado de Puebla que aparte de producir biodiésel actualmente ofrece asesoría, soporte técnico, capacitación, consultoría, y equipos certificados para proyectos de bioenergía enfocados en el uso de biocombustibles.
- **Biorecen** fue constituida en 2011 en el estado de México, al día de hoy produce biodiésel y también se dedica a la recolección, manejo y disposición final de todo tipo de residuos.
- **Biodiésel Moreco** es una empresa formada en 2010 dedicada a la recolección de aceites vegetales y grasas animales de desecho para su posterior conversión a biodiésel, la cual se encuentra ubicada en Tarímbaro Michoacán.
- **Biofuels México** entró en operaciones en el año 2005 en la Ciudad de México y es una empresa que se dedica formalmente a la recolección y reciclaje de aceite vegetal usado para la producción de biodiésel. Su misión es integrar a 1,000 restaurantes dentro de su red de recolección. Actualmente tiene cobertura en Puebla, Cholula, Cuernavaca, CDMX, Toluca, Metepec, Guadalajara, Tlaquepaque, Zapopan, Tonalá, Veracruz, Córdoba, Xalapa, Boca del Rio, Querétaro, Cancún, Playa del Carmen, y Chetumal.

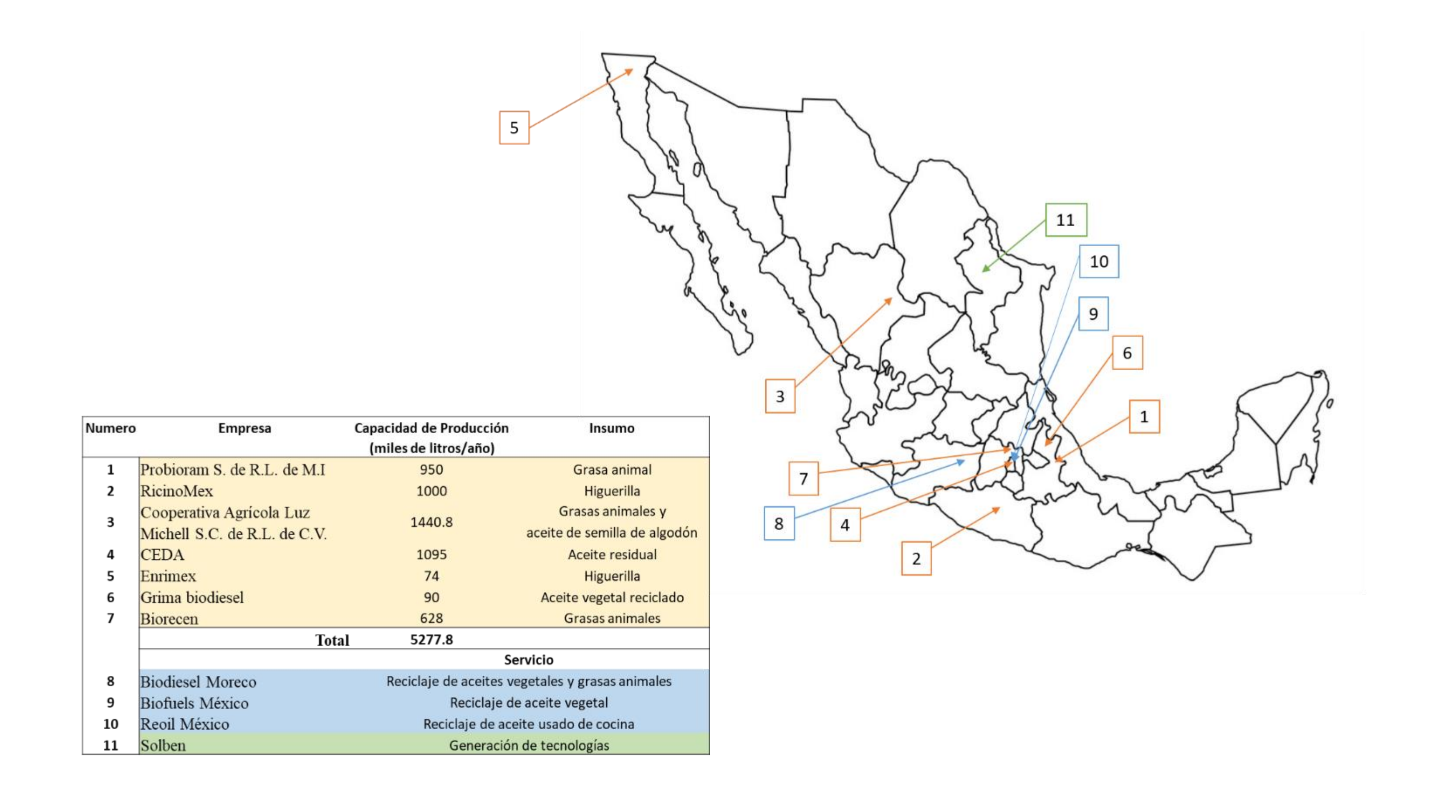


CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

- **Reoil México** es una organización creada en 2008, por emprendedores mexicanos dedicada a la recolección de aceite residual usado de cocina (ARUC) principalmente en Ciudad de México y Toluca. Asimismo, produce “Pre TPO” (Pre aceite técnico de planta), que exporta a la Unión Europea donde se lo procesa para biodiésel
- **Solben** es una empresa en Monterrey, Nuevo León fundada en 2009 ofrece tecnologías propias (plantas de biodiésel) para la generación de energías basado en un modelo de diversificación de productos, a su vez cuenta con programas para identificar la mejor opción de materias primas según las necesidades, oferta programas de vinculación a las pequeñas y medianas empresas para iniciar un negocio rentable en la cadena productiva de bio-energéticos y asesora financieramente a pequeños o grandes productores de materia prima o recolector de aceites para encontrar nichos con mayor rentabilidad. Además, tiene alianza con universidades, centros de investigación y clústeres de energía entre otros.

En la Figura 1 se ilustra la localización de las empresas mencionadas arriba, así como también información relevante de las mismas.

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848



Numero	Empresa	Capacidad de Producción (miles de litros/año)	Insumo
1	Probioram S. de R.L. de M.I	950	Grasa animal
2	RicinoMex	1000	Higuerilla
3	Cooperativa Agrícola Luz Michell S.C. de R.L. de C.V.	1440.8	Grasas animales y aceite de semilla de algodón
4	CEDA	1095	Aceite residual
5	Enrimex	74	Higuerilla
6	Grima biodiesel	90	Aceite vegetal reciclado
7	Biorecen	628	Grasas animales
	Total	5277.8	
		Servicio	
8	Biodiesel Moreco	Reciclaje de aceites vegetales y grasas animales	
9	Biofuels México	Reciclaje de aceite vegetal	
10	Reoil México	Reciclaje de aceite usado de cocina	
11	Solben	Generación de tecnologías	

Figura 1. Empresas involucradas en la cadena de producción de biodiésel en México: productoras, recicladoras y generadoras de tecnología.

Se reportó en 2016 que el precio de litro biodiésel a partir de aceite usado de cocina oscilaba entre $11.10 y $13.72, y si el biodiésel era obtenido a partir de grasa animal el precio por litro oscilaba entre $14.22 hasta $18.22 (REMBIO, 2016); siendo durante ese año el precio promedio del diésel de petróleo en México de $13.77 (Soloautos, 2018). Por lo que, en ese año, se tenía un precio muy similar entre el bioenergético y el derivado de petróleo empleando aceite de cocina usado, por lo que existía en ese momento un corto margen de ahorro al utilizar biodiésel

Actualmente, la empresa Renov México que se encarga no sólo de recolectar aceite usado de cocina sino también de vender equipo para la producción de biodiésel,



Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

comenta en su página web (Renov México, 2022) que a través de su proceso patentado y de sus reactores se puede obtener un litro de biodiésel con un costo de producción de $8 y un precio de venta de $19. Mientras que el alza de los combustibles ha colocado el precio del diésel de petróleo en $22.28 (Intermodal México, 2022), este tipo de incrementos en los derivados del petróleo representan una ventana para el aumento en el uso de biocombustibles, siendo el biodiésel entonces una opción no sólo más verde, sino que puede contrarrestar el aumento de precios de los combustibles y por ende el precio de los productos de necesidad básica.

De acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (SENER, 2018) las propiedades fisicoquímicas del biodiésel para que pueda ser utilizado como sustituto al 100% en un motor de diésel, se especifican en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones de calidad y características del Biodiésel (B100), (SENER, 2018).

Propiedad	Unidad	Método de prueba	Valor límite
Contenido de azufre	mg/Kg	ASTM D5453	15 y 500 máximo
Filtrabilidad en reposo o en frío	s	ASTM D7501	200-360
Contenido de monoglicéridos	% mg/Kg	ASTM D6584	0.40 máximo
Calcio y Magnesio (ppm)	µg/g	EN 14538	5 máximo
Punto de flasheo (copa cerrada)	°C	ASTM D93	93
Contenido de metanol	% mg/Kg	EN 14110	0.2 máximo
Punto de flasheo	°C	ASTM D93	193
Agua y sedimento	% vol/vol	ASTM D2709	0.050 máximo
Viscosidad cinemática a 40°C	mm^2/s	ASTM D445	1.9-6.0
Contenido de cenizas sulfatadas (% masa)	%	ASTM D874	0.02 máximo
Corrosión al Cu	Adimensional	ASTM D130	No. 3 máximo




Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848



Número de cetano	Adimensional	ASTM D613	47 mínimo
Temperatura de nublamiento	°C	ASTM D2500	Informar
Residuos de carbón	% mg/Kg	ASTM D4530	0.05 máximo
Valor ácido	mg KOH/g	ASTM D664	0.50 máximo
Contenido de glicerol libre (% masa)	%	ASTM D6584	0.02 máximo
Contenido de glicerol total (% masa)	%	ASTM D6584	0.240 máximo
Contenido de fósforo	% mg/Kg	ASTM D4951	0.001 máximo
Temperatura de destilación: 90% de recuperación	°C	ASTM D1160	360 máximo
Metales (Na+K) (ppm)	µg/g	EN 14538	5 máximo
Estabilidad para la oxidación	h/min	EN 15751	3 mínimo

3. Producción de biodiésel

Los biocombustibles producidos a partir de materias primas renovables no convencionales surgieron desde hace algunos años, como una opción para disminuir la presencia de gases de efecto invernadero en el ambiente. El biodiésel es un combustible renovable cuyo uso reduce la emisión de CO_2, CO, y otros contaminantes (Fontalvo-Gomez y col*.,* 2021). Lo anterior está asociado al ciclo del biodiésel, el cual al ser quemado en un motor devuelve a la atmósfera el CO_2 que la planta tomó del aire contaminado, esto significa que, aunque la generación de emisiones continúe, no se agregarán nuevas a la atmósfera. Como se ha mencionado los biocombustibles se clasifican en primera, segunda y tercera generación dependiendo de los tipos de materia prima con los que se elaboran. Recordando el biodiésel de primera generación es aquel producido a partir de aceites comestibles que provienen de plantas como el maíz, girasol o aceite de palma, los de segunda generación se obtienen con materias primas no aprovechables para alimentación humana a partir de biomasa lignocelulósica, que incluye residuos forestales agrícolas y desechos urbanos, el aceite usado de cocina y aceite vegetal no comestible; mientras que los de tercera generación se obtienen principalmente a través de algas. Siendo el biodiésel de segunda generación el más



Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

estudiado, ya que la materia prima representa un residuo o proviene de fuentes biológicas infravaloradas como lo son los aceites vegetales no comestibles del aceite de jatropha y de ricino, por lo que se visualiza como una fuente prometedora de biocombustibles (Cortes-Sánchez y col., 2017). Una de las principales ventajas en el uso de materias primas de segunda generación es que los aceites vegetales no comestibles son fuente de triglicéridos para la producción de biodiésel que no comprometen la seguridad alimentaria y cuyos cultivos crecen en casi todas las partes del mundo incluyendo en tierras consideradas infértiles; en segundo lugar, son sustancias renovables ya que las plantas oleaginosas pueden sembrarse y cosecharse durante prácticamente todo el año; en tercer lugar, las plantas verdes ayudan a la fijación del CO_2 durante la fotosíntesis y debido a esto tiene un precio relativamente bajo (Castelar y col., 2014).

3.1 Transesterificación

Los aceites vegetales tienen una viscosidad demasiado alta para su uso en la mayoría de los motores diésel como un sustituto directo del combustible diésel, lo que ocasionaría el taponamiento de los inyectores del motor. Para reducir su viscosidad se utilizan técnicas como: disolución, micro emulsificación, pirólisis y transesterificación. Esta última es la más comúnmente empleada para reducir la viscosidad del aceite, la cual involucra la reacción de un ácido graso (triglicérido), el principal constituyente de aceites y grasas vegetales, con un alcohol que por lo regular es metanol o etanol para formar ésteres (biodiésel) y glicerol. Sin embargo, debido a su lenta velocidad de reacción, la reacción de transesterificación debe ser catalizada. Es bien sabido que los catalizadores básicos sólidos son capaces de catalizar la reacción de transesterificación y con un alto rendimiento de biodiésel y glicerol de alta pureza en comparación con los catalizadores de naturaleza ácida (Cabrera-Munguia y col., 2018). Debido a que la reacción es reversible, se utiliza un exceso de alcohol para desplazar la reacción totalmente hacia la derecha ya que la



Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

reacción de transesterificación consta de tres etapas consecutivas reversibles como se muestra en la Figura 2 (Aliseda-Montero, 2003). En el paso i) partiendo del triglicérido y metanol se forma una molécula de diglicéridos y otra de éster metílico, en el paso ii) el diglicérido y el metanol reaccionan para formar un monoglicérido y nuevamente un mol de éster metílico, en el paso iii) el monoglicérido y metanol forman como productos finales otra molécula de ésteres metílicos y una de glicerol, es importante señalar que, en cada paso de la reacción, una molécula de ésteres metílicos es producida por cada molécula de metanol consumida (García-Muentes y col., 2018) ya que según la estequiometría de la reacción, por cada mol de triglicérido se necesitan tres moles de metanol y se obtienen tres moles de ésteres metílicos y un mol de glicerol. Como se mencionó anteriormente en el proceso de obtención de biodiésel se obtienen varios subproductos, entre los que está principalmente el glicerol que es un precursor para la obtención de productos de alto valor agregado como lo son cosméticos, fibras sintéticas, surfactantes, lubricantes, pinturas, productos de alimentación y bebidas, entre otros (Aliseda-Montero, 2003).

CienciAcierta
Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

i) Triglicérido + $CH_3–OH$ (Metanol) $\xrightleftharpoons{Cat.}$ $CH_3–O–CO–R_1$ (Éster metílico) + $CH_2–OH$ / $CH–O–CO–R_2$ / $CH_2–O–CO–R_3$ (Diglicérido)

ii) $CH_2–OH$ / $CH–O–CO–R_2$ / $CH_2–O–CO–R_3$ (Diglicérido) + $CH_3–OH$ (Metanol) $\xrightleftharpoons{Cat.}$ $CH_3–O–CO–R_2$ (Éster metílico) + $CH_2–OH$ / $CH–OH$ / $CH_2–O–CO–R_3$ (Monoglicérido)

iii) $CH_2–OH$ / $CH–OH$ / $CH_2–O–CO–R_3$ (Monoglicérido) + $CH_3–OH$ (Metanol) $\xrightleftharpoons{Cat.}$ $CH_3–O–CO–R_3$ (Éster metílico) + $CH_2–OH$ / $CH–OH$ / $CH_2–OH$ (Glicerol)

Figura 2. Reacción de transesterificación (Aliseda-Montero, 2003).

3.2 Catalizadores sólidos para la producción de biodiésel

Generalmente la tecnología empleada para la producción de biodiésel involucra un sistema (reactor) homogéneo empleando catalizadores básicos como NaOH, KOH, CH_3ONa ó CH_3OK. De hecho, la catálisis homogénea es la utilizada en las empresas mexicanas productoras de biodiésel que emplean como materia prima





Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

grasa animal y/o aceite usado provenientes de rastros, restaurantes y procesadores de carne; para ello emplean NaOH o KOH (REMBIO, 2016). Las condiciones de operación del reactor son alrededor de 1 hora de reacción a una temperatura entre 60 a 70 °C y presión atmosférica. Como se puede ver las condiciones son suaves, sin embargo, se tiene el inconveniente que se requiere etapas extras una vez que se produce el biodiésel, entre las cuales se encuentran la neutralización, lavado y secado para remover el glicerol y el catalizador del biodiésel. Una alternativa para disminuir la gran cantidad de agua necesaria para el lavado del biodiésel y evitar la generación de efluentes contaminados con sales y jabones en la producción de biodiésel es el uso de catalizadores básicos sólidos, ya que estos últimos pueden removerse por métodos físicos una vez que se haya terminado la reacción y emplearse durante varios ciclos de reacción: además el biodiésel y glicerol obtenido no requiere de una purificación posterior al estar libres de sales, por lo que la producción de biodiésel mediante catalizadores sólidos se considera un proceso verde (Bourney y col., 2005; Rios y col., 2009). Cabe mencionar que los catalizadores sólidos han mostrado buenos rendimientos de biodiésel que van del 81 al 96% al término de 2 horas de reacción y empleando relaciones molares alcohol/aceite de 12/1 a 20/1 (Fontalvo-Gomez y col*.,* 2021) y algunos ejemplos de estos catalizadores básicos heterogéneos son zeolitas, carbonatos y óxidos constituidos por elementos del grupo IIA y óxidos mixtos que contienen elementos de los grupos IA, IIA, así como metales de transición como Zr y Ti. (Cabrera-Munguia y col., 2018). Las propiedades fisicoquímicas que se buscan en un catalizador heterogéneo para la síntesis de biodiésel son: estabilidad térmica, gran área superficial, gran tamaño de poro (>2nm): mesoporos y macroporos, hidrofobicidad para evitar la desactivación por moléculas polares (agua), pares ácido-base de Lewis (M-O), alta densidad de sitios activos, buena dispersión de la fase activa para evitar la lixiviación (Cabrera-Munguia y col., 2022). Tal como se muestra en la Tabla 2, los catalizadores heterogéneos poseen un alto potencial en la producción comercial de biodiésel ya que registran buenos porcentaje de



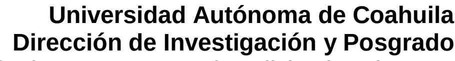

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

rendimiento, pero claramente la disponibilidad, la síntesis, la renovabilidad, la actividad catalítica, el bajo costo y la reutilización son propiedades importantes para un catalizador comercial exitoso. Además de disminuir los gastos de biodiésel, la producción de catalizadores heterogéneos a partir de recursos naturales ayuda a la omisión de desechos peligrosos y la contaminación ambiental (Jayakumar y col., 2021).

La producción industrial de biodiésel a partir de catalizadores sólidos se implementó en la Unión Europea desde 1995. El proceso se llama Esterfip H desarrollado por la compañía Axens, el cual es un proceso continuo donde la transesterificación se efectúa mediante un catalizador heterogéneo compuesto de un óxido mixto de zinc y aluminio, el cual promueve la reacción sin pérdida del catalizador por lixiviado en la mezcla de reacción. Para ello, se utiliza una alta temperatura y presión con respecto a las condiciones de una catálisis homogénea, además de un exceso de metanol que posteriormente se remueve por evaporación y es reciclado al proceso junto con una corriente fresca de metanol (Bournay y col., 2005).

El contenido de 96.5% de metil ésteres que marca la normativa europea se alcanza en dos etapas sucesivas de reacción y de separación del glicerol con la intención de desplazar el equilibrio hacia los productos en la reacción de transesterificación. Luego, en la sección de purificación del biodiésel se deben eliminar trazas de glicerol y de metanol para lo cual el metanol es eliminado mediante vaporización a vacío seguido de una unidad de adsorción para la remoción de glicerol soluble en el biodiésel (Bournay y col., 2005).

El precio del biodiésel en la unión europea obtenido a partir de la tecnología Esterfip H por Axens es de un costo estimado de 963 dólares por tonelada métrica lo cual es equivalente a $19.33 pesos mexicanos por litro (Energy Nouvelles, 2021), es decir, menos de un euro por litro. Mientras que el costo del diésel de petróleo en


Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

Francia por ejemplo es de $40 pesos por litro (Global Petrol Prices, 2022), lo que da un gran margen de ganancia y la buena aceptación del biodiésel a pesar de que este se producido a partir de aceite de colza, un aceite de primera generación. Esto naturalmente, se ha logrado gracias a las políticas empleadas por los gobiernos de la comunidad europea, aunado a la necesidad de suplir cierto porcentaje de la demanda de los derivados del petróleo debido a su carencia del crudo como recurso natural y por ende apostando en la producción de bioenergéticos desde 1995. Finalmente, la factibilidad de utilizar un proceso catalítico heterogéneo tiene el objetivo de producir biodiésel mediante un proceso continuo que no sólo produzca biodiésel en grandes cantidades, sino que sea económica y ambientalmente sostenible.

3. 3 Producción, separación de biodiésel y glicerol

A pesar de que las universidades, centros de investigación y empresas privadas en un trabajo en conjunto han impulsado la producción de biodiésel, haciéndose más asequibles y eficientes empleando cada vez menos materia prima, disminuyendo el consumo de energía en el proceso de obtención de biodiésel. Sin embargo, aún existe muchos retos tanto científicos como tecnológicos que deben atenderse. Se puede decir que la principal problemática que se tiene en la elaboración de biodiésel es el uso de ácidos y bases fuertes los cuales son altamente peligroso y corrosivos. Como consecuencia no ha sido posible conseguir la certificación MLD (Mecanismo de Desarrollo Limpio). En consecuencia, se han buscado sustituir el uso de ácidos y bases empleados como catalizador en la reacción de transesterificación y esterificación de aceites para la generación de biodiésel. A continuación, se




Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

menciona tres alternativas (tecnologías) que se pueden emplear en lugar de ácidos y bases y así poder contrarrestar la problemática mencionada, empero hay ventajas y desventajas como se muestra a continuación:

- Emplear enzimas como catalizador en un reactor por lotes o continuo las ventajas que muestran este tipo de sistema es que se puede reutilizar las enzimas sí se encuentran inmovilizadas como seria en un sistema de reacción continuo, sobre todo que son biodegradables, seguras (no toxicas) y pueden procesar todo tipo de aceite. Las desventajas son altos costos y tiempos de reacción largos.
- Otra alternativa es emplear alcohol en estado súper-critico en un reactor por lotes la principal ventaja seria que no se requiere un catalizador como tal, pero presenta la desventaja de alto costo de infraestructura y alto consumo de energía.
- El uso de catalizadores sólidos los cuales pueden ser empleados en reactores por lotes o continuos presentando la ventaja de ser reutilizables o usables en procesos continuos y puede transformar cualquier tipo de aceite, la principal desventaja es el costo del catalizador (sólido).

Independientemente de la tecnología de producción de biodiésel que se utilice, es decir transesterificación por catálisis homogénea o heterogénea, el subproducto principal es el glicerol. Por cada tonelada de biodiésel se produce un poco más de 100 kilos de glicerol. Sin embargo, el grado de pureza (o los pasos de purificación que se requieren para tener glicerina pura) sí depende de la tecnología empleada. A continuación, se describe el proceso de separación y purificación del biodiésel y glicerol (ver Figura 3). Transcurrido el tiempo de la reacción de transesterificación, se detiene la agitación para realizar la separación del biodiésel y glicerol. El biodiésel (fase liviana) y el glicerol (fase pesada) se colocan en un tanque de separación (Riesco-Ávila y col., 2017), posteriormente cada producto se somete a diferentes sistemas de purificación como se muestra en la Figura 3, donde una vez





Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

que finalizó la separación de fases, se llevan a cabo una serie de operaciones unitarias como parte del sistema de purificación de estas fases: se comienza con el biodiésel donde para retirar los posibles residuos de metanol, glicerina y catalizador, al tanque se le adiciona agua destilada en un volumen igual a un tercio del volumen de biodiésel, posteriormente se somete a agitación y se deja el tanque en reposo hasta la separación de las fases presentes donde se elimina la fase acuosa. El proceso se repite hasta alcanzar un valor de pH en el agua de lavado cercano a la neutralidad. Terminadas las operaciones de lavado y separación, el producto se calienta a 110 °C para evaporar el agua que podría estar presente y se almacena el producto (biodiésel purificado) a 4 °C (Riesco-Ávila y col., 2017). Por su parte, el glicerol es sometido a diferentes tratamientos para la obtención de glicerina con diferentes grados de pureza. Este proceso comienza con una neutralización del glicerol crudo y posteriormente se realizan varias operaciones de filtración para eliminar cualquier rastro de sólidos. Seguido a esto se realiza una destilación simple donde se logra concentrar la glicerina cruda con un porcentaje de pureza del 80-85%. Para obtener glicerina de más alta pureza es necesario realizar una última etapa de refinamiento a la glicerina cruda, esta comienza con una destilación al vacío de la glicerina cruda, al término de esta operación se realiza una separación de las fases (blanqueado) donde se obtiene como producto glicerina pura con un grado de pureza de 99.5% aproximadamente y este es un producto de alto valor agregado (Morales y col., 2010). Como ya se mencionó una alternativa viable para la producción de biodiésel es el uso de reactores heterogéneos, lo cual implica el uso de catalizadores sólidos, con el cual se tiene la ventaja de hacer un proceso “verde” al disminuir de manera considerable el impacto ambiental generado por los solventes requeridos para remover los catalizadores cuando se emplea un reactor homogéneo. Pero, además un sistema heterogéneo hace más rentable el proceso ya que se disminuye el número de etapas involucradas en la recuperación del catalizador y purificación de productos. En cuanto a este último aspecto cabe mencionar que la glicerina al ser un subproducto de la reacción de alto valor





Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

agregado el cual constituye alrededor del 10% en peso del aceite alimentado, aumenta la rentabilidad de la producción de biodiésel al disminuir las etapas adicionales de purificación de productos requeridas en un sistema homogéneo (Becerra y col., 2008).

ACEITE VEGETAL
+
CATALIZADOR
METANOL
REACTOR
TRANSESTERIFICACIÓN
TANQUE DE SEPARACIÓN
SISTEMA DE PURIFICACIÓN
FASE LIVIANA: BIODIESEL
LAVADO Y SECADO DEL BIODIESEL
BIODIESEL PURIFICADO
FASE PESADA: GLICEROL
TRATAMIENTO GLICEROL
GLICERINA CRUDA 80-85%
DESTILACIÓN Y BLANQUEADO DE LA GLICERINA
GLICERINA PURA 99.5%
PRODUCTOS

Figura 3. Proceso para la producción de biodiésel



Tabla 2. Materiales y condiciones de reacción para diferentes catalizadores heterogéneos utilizados en la producción de biodiésel

Tipo de catalizador	Material	Materia prima	Tiempo de reacción	Temperatura	Relación molar alcohol/aceite	% Rendimiento	Referencia
Zeolitas	Bentonita/ zeolita-P	Aceite de palma	120 min	90°C	Metanol, 20:1	98.8%, empleando irradiación ultrasónica al 60% de potencia.	(Abukhadra y col., 2019)
	20CaO/ ZMF	Aceite de girasol	120 min	60 °C	Metanol, 12:1	96.5 %	(Pavlović y col., 2021)
	Li_3AlSiO_5 componente activo	Aceite de ricino	45 min	65°C	Metanol 12:1	94.29 %	(Zhang y col., 2020)



	CaO/FA-ZM	Aceite de girasol	30 min	60 °C	Metanol, 6:1	97. 8 %	(Pavlović y col., 2020)
Óxidos de metales alcalinos (IA y IIA)	CaO/cáscara de huevo	Aceite de cocina usado	40 min	55°C	Metanol, 8.3:1	98.62 %	(Attari y col., 2022)
	SrO/carbón	Aceite de semilla de dátil	90 min	65°C	Metanol, 15:1	94.27 %	(Jamil y col., 2021)
	CaO-600 mT	Aceite de palma	195 min	70°C	Metanol, 12:1	96.7 %	(Sronsri y col., 2021)
	MgO-Urea-800	Aceite de ricino	60 min	75°C	Metanol, 12:1	96.5 %	(Du y col., 2019)



Óxidos de metales de transición	CuO/ZnO	Aceite de cocina usado	120 min	65°C	Etanol, 9:1	81.3 %	(Guo y col., 2022)
	MgO/$MgFe_2O_4$	Aceite de girasol	240 min	110 °C	Metanol, 12:1	91.2%	(Alaei y col., 2018)
	$LaTiO_3$	Aceite de semillas de mostaza silvestre	80°C	60 min	Metanol, 4:1	92.21 %	(Rezania y col., 2022)
	MoO_3/$SrFe_2O_4$	Aceite de cocina usado	164°C	240 min	Metanol,40:1	95.4 %	(Gonçalves y col., 2021)
Hidrotalcitas	Al-Ca /K_2CO_3	Aceite de soya	65°C	120 min	Metanol, 13:1	87.4 %	(Sun y col., 2014)



	ZnAl-Zr (0.25)	Aceite de soya	200°C	120 min	Metanol, 30:1	82.1%	(Cabrera-Mungia y col., 2017)
	MgAl/LDH	Aceite de girasol	120°C	240 min	Metanol, 15:1	94.6 %	(Sayed y col., 2020)
	Ca–Mg–Al	Aceite de girasol	60°C	360 min	Metanol, 15:1	95 %	(Dahdah y col., 2020)





Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

4. Estatus y perspectivas de la producción de biodiésel a partir de aceites vegetales no comestibles en México

Los 10 países que lideran la producción de biodiésel proveyendo cerca de 80% de la demanda global son Brasil, Estados Unidos, Malasia, Argentina, Países Bajos, España, Filipinas, Bélgica, Indonesia y Alemania. No obstante, la mayoría de este biodiésel se obtiene a partir de materia prima de primera generación: aceite de palma (31%), aceite de soja (27%) y aceite de colza (20%), por lo que para disminuir el costo final del biodiésel se ha optado por emplear materia prima no apta para consumo humano como lo son el aceite vegetal no comestible, aceite residual y aceite de alga (Rezania y col., 2019); ya que la materia prima representa del 70-90% del costo total de la producción de biodiésel (Abdul Hakim Shaah y col., 2021)

Como se observa en la Tabla 2 existen una gran variedad de aceites vegetales no comestibles que se obtienen de semillas nativas de plantas oriunda de diversas partes del mundo (Demirbas y col., 2016; Singh y col., 2020; Abdul Hakim Shaah y col., 2021). Así, los aceites vegetales no comestibles pueden ser empleados como materia prima alternativa a los aceites vegetales comestibles y con ello evitar la competencia con cultivos necesarios para la alimentación humana. Otra ventaja es que dichas plantas pueden crecer en tierras marginales, evitando con ello la deforestación. Para ello, es necesario tomar en cuenta el porcentaje de aceite que puede obtenerse a partir de la semilla (g aceite/Kg de semilla) y la producción de semilla (tonelada de semilla/hectárea-año) considerando el tiempo en que crece la



CienciAcierta
Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

planta y produce semilla, así como el tiempo que tarda en dejar de producir semilla (Abdul Hakim Shaah y col., 2021).

Dentro de las ventajas del aceite vegetal no comestible se tiene su estado natural líquido, disponibilidad, renovable, alta eficiencia de combustión, bajo contenido de azufre y compuestos aromáticos. Mientras que su principal desventaja es su alto contenido de ácidos grasos libres (>2% peso) (Demirbas y col., 2016), alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados y bajo contenido de ácidos grasos insaturados. Para facilitar la producción de un biodiésel de buena calidad se requiere que el aceite contenga una alta cantidad de ácidos grasos monoinsaturados y una menor cantidad de ácidos grasos saturados y poliinsaturados. Por ello, se ha pensado en la ingeniería genética de los cultivos para mejorar su rendimiento, así como la calidad del aceite al modificar su composición de ácidos grasos. Dentro de las tecnologías de extracción del aceite vegetal no comestibles se tiene el 1) prensado mecánico, 2) extracción Soxhlet, 3) extracción enzimática y 4) extracción por microondas; siendo las primeras 2 técnicas las más utilizadas (Abdul Hakim Shaah y col., 2021)

Tabla 3. Características y producción de aceite vegetal no comestible (Demirbas y col., 2016; Singh y col., 2020; Abdul Hakim Shaah y col., 2021).



Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

Tipo de aceite	**Zona geográfica**	**Principales ácidos grasos (%)**	**Contenido de aceite en semilla (%)**	**Kg aceite/ hectárea. año**
Aceite de algodón *(Gossypium)*	Europa, China y Estados Unidos	ácido oleico (19.2–23.26), palmítico (11.67–20.1) y linoleico (55.2–55.5)	17-25	No reportado
Jatropha *(Jatropha curcas)*	India, Argentina, Estados Unidos, Paraguay Brazil, África, Bolivia y México	Ácido oleico (34.3–44.7), linoleico (31.4–43.2), palmítico (13.6–15.1) y esteárico (7.1–7.4%)	20-60	2500
Aceite de ricino (*Ricinus communis L)*	África, América y Euroasia: India, China, Brasil y México	Ácido ricinoleico (90%)	40-55	No reportado



CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

Jojoba *(Simmondsia chinensis)*	México, California, Arizona e India	Ácido linoleico (25.2–34.4) y oleico (43.5–66)	40-50	No reportado
Karanja *(Millettia pinnata)*	Sureste de Asia, Australia, China y Estados Unidos	ácido esteárico (2.4–8.9), linoleico (10.8–18.3) y oleico (44.5–71.3)	25-40	900-9000
Aceite de lino *(Linum usitatissimum)*	Argentina, India, Europa y Canadá.	ácido linolénico (46.10–51.12), oleico (20.17–24.05) y linoleico (13.29–14.93), palmítico (5.85–6.21) y esteárico (5.47–5.63)	No reportado	No reportado
Mahua *(Madhuca longifolia)*	India	ácido oleico (41–51), esteárico (20.0–25.1), palmítico (16.0–	35-50	

CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

		28.2) y linoleico (8.9–18.3)		
Neem *(Azadirachta indica)*	Bangladesh, Australia, India, Japan, Burma, Sri Lanka, Indonesia y Pakistán.	Ácido oleico (25–54%), linoleico (6–16) y esteárico (9–24)	20-30	2670
Semilla de caucho *(Hevea brasiliensis)*	Brasil, Indonesia, Malasia, Tailandia e India	Ácido linolenico (16.3), linoleico (39.6), y oleico (24.6)	50-60	No reportado
Tabaco *(Nicotiana tabacum)*	Rusia, Turquía, India, Macedonia, Sur y Norte de América	ácido linoleico (69.49–75.58)	35-49	No reportado
Aceite de Moringa	Al sur de India, Etiopía, Filipinas,	Ácido oleico (67.7), esteárico (8.3), behénico (7.4),	30-40	No reportado

CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

(Drumstick tree)	Sudan, Sur de África, Asia tropical y Latinoamérica y el Caribe	araquídico (4.7), palmítico (6.9), linoleico (10.7), y eicosenoico (2.3)		

De acuerdo con la Tabla 3 los aceites vegetales no comestibles y oriundos de México son el aceite de Jatropha, el aceite de ricino y el aceite de jojoba; éste último es empleado con fines cosméticos por lo cual se encarece su precio, quedando con ello 2 opciones disponibles para la producción de biodiésel a partir de aceite no comestible. No obstante, respecto a la producción regional de biodiésel en México, como se observa en la Tabla 4 existen otros aceites vegetales que dependiendo del estado o municipalidad podría explotarse otras semillas productoras de aceites nativas de la región y con ello abastecer la demanda local.

Por otro lado, si se requiriera de una producción para suministrar la demanda a nivel nacional se considera que el aceite de Jatropha y de ricino serían opciones ideales. De esta manera México es considerado el centro del origen de aceite de Jatropha ya que la variedad de sus semillas se clasifica como no tóxicas ya que no contiene ésteres de forbol o sólo se encuentra n muy pequeñas cantidades (0.02 mg/g de semilla). Las variedades no tóxicas se encuentran en Veracruz, Hidalgo, Puebla, Yucatán y Quintana Roo. Otra característica importante del cultivo de Jatropha es

CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

que puede crecer en tierras marginales y rehabilitar el suelo (Pérez y col., 2019; Ewunie y col., 2021). Además, a esperanza de vida de la planta de Jatropha es de 49 años con una producción de semilla de 30 a 40 años, sin embargo, es susceptible a las bajas temperaturas (Ewunie y col., 2021)

En el caso del aceite de ricino (*Ricinus communis L*) este es un aceite no comestible de alto valor comercial ya que se emplea como materia prima en la producción de fármacos y polímeros. Se sabe que el cultivo del aceite de ricino crece adecuadamente en climas cálidos y que su productividad depende de la humedad del suelo, la exposición a la luz y la variación de temperatura. Su semilla contiene de 40 a 55% de aceite, además de que el aceite se constituye principalmente por ácido ricinoleico (90%) por lo que es altamente viscoso (Armendáriz y col., 2015). El ciclo de producción de la planta es anual, bianual o perenne (producción durante 6 o 7 meses), no obstante, el volumen de producción decrece significativamente luego de la tercera generación, por lo que se debe volver a plantar (Bibin y col., 2020)

Por lo que el uso cosmetológico y farmacéutico del aceite de jojoba y de ricino encarece su precio. Además de que la alta viscosidad del aceite de ricino puede generar un biodiésel que no cumpla con las normas de estandarización respecto a los parámetros de densidad y viscosidad. Así, lo más factible es el cultivo de Jatropha en tierras infértiles ya que debido a su tipo de cultivo, contenido de aceite en semilla, producción y la baja toxicidad de las especies nativas de México se

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

podría abastecer la demanda de biodiésel en México, pero para ello, se requieren de políticas que beneficien la producción del cultivo, así como la demanda del biodiésel obtenido, de manera que el proceso sea sustentable y rentable al mismo tiempo.

De acuerdo con (Toscano y col., 2011) el desarrollo de bioenergéticos en México debe enfocarse en materia prima de segunda y tercera generación, lo que en el caso de biodiésel significa el empleo de aceites vegetales no comestibles, grasa animal y aceite residual de restaurantes y empresas de giro alimenticio. Esto es para evitar el incremento del precio de biodiésel y no competir que el uso alimenticio que da a los aceites vegetales, aunado a que incluso la producción de aceite vegetal (aceite, canola y cártamo) en México es insuficiente para cubrir las necesidades de consumo del país.

Dentro de las barreras que se tienen en el desarrollo de bioenergéticos en México como lo es el biodiésel se tiene: i) la falta de fondos por parte de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) para instalar programas para la producción de cultivos no comestibles, ii) la falta de una regulación nacional (norma) para estandarizar la calidad del biodiésel obtenido y su uso como mezcla con el diésel sin afectar el proceso de combustión en los motores y iii) la falta de un programa que introduzca el uso del biodiésel en el transporte público o particular, de manera que se incentive al usuario a su uso mediante un ahorro que impacte su bolsillo.



CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

En cuanto a la política pública en 2008 el Diario Oficial de la Federación decretó i) la promoción y desarrollo de la bioenergía para contribuir a su diversificación y desarrollo sustentable, ii) el desarrollo de la producción, mercado y uso eficiente de la bioenergía para reactivar el sector rural, iii) promover el desarrollo rural y regional, iv) reducir los gases de efecto invernadero, v) coordinar acciones para el desarrollo de la bioenergía a nivel municipal, estatal y federal. A partir de esta política se echaron a andar plantas para producción de biodiésel en Nuevo León, Michoacán y Chiapas, no obstante, ya no siguen operando en la actualidad (Toscano y col., 2011). En México no basta con tener una política a nivel nacional, sino que además debe establecerse un estudio económico, social y ambiental que indique el mejor lugar para instalar una planta productora de biodiésel con base en la materia prima, el mercado y canales de distribución; así como las regulaciones y estándares que debe tener el biodiésel de su uso y disposición; y esto es lo que siempre queda en el aire; en especial cuando con cada cambio de mandatario no se da un seguimiento a los proyectos y a las iniciativas del gobierno pasado, debido a intereses políticos.

> De acuerdo con un reporte emitido por la Red Mexicana de Bioenergia la principal materia prima para la producción de biodiesel son los aceites usados de cocina (REMBIO, 2016). No obstante, se tienen problemas con la logística de recolección, procesamiento y comercialización ya que a pesar de producirse 1280 millones de litro de aceite de cocina por año destinada a la industria alimenticia y gastronómica (Mongabay, 2021), y al uso doméstico. En México sólo se tiene una capacidad instalada de 2 millones de litros de biodiesel al año

CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

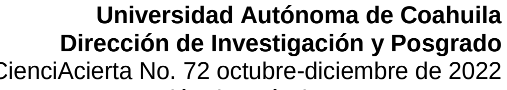
(Mongabay, 2021), esto es, ya que de un sólo litro de aceite el 90% de este puede convertirse en biodiesel y el resto se transforma en glicerol.

La población potencialmente consumidora de biodiesel son el transporte de carga y las flotas de autobuses ya que sus motores utilizan diésel. Así, el potencial de expansión es amplio ya se tiene una demanda de diésel desde 120 mil hasta 360 mil m^3/año en ciudades de más de 100 mil habitantes (REMBIO, 2016). Sin embargo, el principal problema de la producción del biodiesel sigue siendo la materia prima ya tanto el aceite usado como la grasa animal son materias primas empleadas en producción de alimentos de engorda (Mongabay, 2021), aunado a que el gobierno mexicano aún no ha establecido un conjunto de regulaciones coherentes para una transición de los combustibles fósiles. Por lo que la proyección de producción de biodiesel a futuro (5, 10 años, etc.) no es esperanzadora mientras no se garantice la materia prima (REMBIO, 2016; Mongabay, 2021).

Tabla 4. Producción de biodiésel a partir de aceites vegetales no comestibles oriundos de México.

Aceite	Catalizador, %m	Temperatura, ºC	Tiempo, h	Relación alcohol/aceite	Rendimiento, %	Referencia
Cascabela Ovata	NaOH, No reportato	No reportado	No reportado	Metanol, no reportado	95	(Sánchez-Arreola y col., 2019)
Jatropha	Cs-Na_2ZrO_3, 3	65	1	Metanol, 15:1	90.8	(Torres-Rodríguez y col., 2016)
Caesalpinea Eriostachys	ZnAl(4), 3; NaOH, 1	200; 65	2; 2	Metanol, 30:1; Metanol, 6:1	79; 90	(Pamatz-Bolaños y col., 2018)
Ricinus Communis	KOH, 1	60	2	Metanol, 3:1	61.44	(Ávila-Vázquez y col., 2020)
Argemone	No reportado, 0.4%	65	1	Metanol, 6:1	94	(Anjum y col., 2019)
Jatropha Curcas	MOF-5, 0.75	145	12	Metanol, 36:1	90.8	(Ben-Youssef y col., 2021)
Annona diversifolia	KOH, 0.75	65	2	Metanol, 12:1	91.9	(Reyes-Trejo y col., 2014)





Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

Conclusiones

La generación de biodiésel en México es una realidad, actualmente se encuentra operando siete empresas que en conjunto suman una producción de alrededor de 5277.8 m^3 de biodiésel por año a partir de materia prima de 2ª generación. Además, se suma a la cadena de producción de biodiésel tres empresas recicladoras de aceite de semilla y grasas animales y una empresa enfocada a la generación de tecnología para la producción a mediana y gran escala de biocombustibles. Actualmente los cultivos empleados en la producción de biodiésel son de palma, higuerilla, y jathropa. Sin embargo, las hectáreas disponibles de estos cultivos para la producción del biodiésel siguen siendo bajas en comparación a la demanda requerida del combustible en el país que aumentará en los próximos años. Para que México se posicione como un país productor de biodiésel son necesarias medidas por parte del gobierno, entre algunas de ellas sería destinar más fondos para programas para la producción de cultivos no comestibles, legislar el uso de biodiésel como mezcla y así aumentar el mercado del biocombustible, estandarizar la producción del combustible y que cumpla con las regulaciones internacionales, establecer un programa de uso del biodiésel en el transporte público. En este último punto la CDMX ya inició el establecimiento de este tipo de programa, pero es necesario que se impulse en el resto del país sobre todo en las grandes ciudades. El gobierno federal debe seguir impulsando la producción de biocombustibles de 2ª y 3ª generación para llegar a ser un país autosuficiente en términos energéticos en el mediano plazo.



CienciAcierta

Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848



REFERENCIAS

1. Abdul Hakim Shaah, M., Hossain, M. S., Salem Allafi, F. A., Alsaedi, A., Ismail, N., Ab Kadir, M. O., & Ahmad, M. I. (2021). A review on non-edible oil as a potential feedstock for biodiésel: physicochemical properties and production technologies. *RSC Advances*. 11(40): 25018–25037.
2. Abukhadra, M.R., Ibrahim, S.M., Yakou, S.M., El-Zaidy, M.E., Abdeltawab, A.A. (2019). Synthesis of Na^+ trapped bentonite/zeolite-P composite as a novel catalyst for effective production of biodiésel from palm oil; Effect of ultrasonic irradiation and mechanism. (2019). *Energy Conversion and Management*. 196: 739–750.
3. Alaei, S., Haghighi, M., Toghiani, J., Vahid, B.R. (2018). Magnetic and reusable MgO/MgFe2O4 nanocatalyst for biodiésel production from sunflower oil: Influence of fuel ratio in combustion synthesis on catalytic properties and performance. *Industrial Crops and Products*. 117:322-332.
4. Aliseda-Montero, R. (2003). Estudio de la transesterificación de aceite vegetal con metanol. [En linea]. Disponible en; https://burjcdigital.urjc.es/bitstream/handle/10115/686/PFC%20 ALISEDA%20MONTERO.pdf; sequence=1. Fecha de consulta: 20 de enero de 2022.



Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

5. Anjum, S. S., Prakash, O., Pal, A. (2019). Conversion of non-edible Argemone Mexicana seed oil into biodiésel through the transesterification process. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects.* 41(19): 2356–2363.
6. Armendáriz, J., Lapuerta, M., Zavala, F., García-Zambrano, E., & del Carmen Ojeda, M. (2015). Evaluation of eleven genotypes of castor oil plant (Ricinus communis L.) for the production of biodiésel. *Industrial Crops and Products*. *77*: 484–490.
7. Attari, A., Abbaszadeh-Mayvan, A., Taghizadeh-Alisaraei, A. (2022). Process optimization of ultrasonic-assisted biodiésel production from waste cooking oil using waste chicken eggshell-derived CaO as a green heterogeneous catalyst. *Biomass and Bioenergy*. 158, 106357.
8. Ávila-Vázquez, V., Díaz-Estrada, R. A., Aguilera-Flores, M. M., Escamilla-Alvarado, C., Correa-Aguado, H. C. (2020). Transesterification of non-edible castor oil (*Ricinus communis L.)* from Mexico for biodiésel production: a physicochemical characterization. *Biofuels*. 11(7), 753–762.
9. Becerra, M., Lopez, J.E., Centenio, A., Giraldo.S.A. (2008). Producción de biodiésel y glicerina limpia empleando catálisis básica heterogénea. [En linea]. Disponible en: https://core.ac.uk/download/pdf/230206898.pdf. Fecha de Consulta: 02 de febrero de 2022
10. Ben-Youssef, C., Chávez-Yam, A., Zepeda, A., Rivera, J. M., Rincón, S. (2021). Simultaneous esterification/transesterification of waste cooking oil





Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

and Jatropha curcas oil with MOF-5 as a heterogeneous acid catalyst. *International Journal of Environmental Science and Technology*.18(11), 3313–3326.

11. Bibin, C., Gopinath, S., Aravindraj, R., Devaraj, A., Gokula Krishnan, S., Jeevaananthan, J. K. S. (2020). The production of biodiésel from castor oil as a potential feedstock and its usage in compression ignition Engine: A comprehensive review. *Materials Today: Proceedings*. 33, 84–92.
12. Bournay, L., Casanave, D., Delfort, B., Hillion, G., Chodorge, J.A. (2005). New heterogeneous process for biodiésel production: A way to improve the quality and the value of the crude glycerin produced by biodiésel plants. *Catalysis Today,* Volume 106(1–4): 190-192.
13. Cabrera-Mungia, D.A., Romero-Galarza, A., González, H., Farias-Cepeda, L., Reyes-Acosta, K., Serrato-Villegas, L.E. (2022). Tailoring the suitable solid catalyst for Biodiésel production using second-generation feedstocks. En L.J. Rios-Gonzalez, J.A. Rodriguez-De la Garza, M.A. Medina-Morales and C.N. Aguilar. (Eds.), *Handbook of research on biorefinery and biomaterials.* (pp. 127-164). Apple Academy Press.
14. Cabrera-Munguía, D.A., González, H., Gutiérrez-Alejandre, A., Rico, J.L., Huirache-Acuña, R., Maya-Yescas, R., del Río, R.E. (2017). Heterogeneous acid conversion of a tricaprylin-palmitic acid mixture over Al-SBA-15 catalysts: Reaction study for biodiésel synthesis. *Catal. Today*. 282, 195-203.





Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

15. Cabrera-Munguia, D.A., Tzompantzi, F., Gutiérrez-Alejandre, A., Rico, J.L., González, H. (2018). New insights on the basicity of ZnAl-Zr hydrotalcites activated at low temperature and their application in transesterification of soybean oil. J. *Mater. Res*. 33(21) 142: 3614-3624.
16. Cabrera-Munguia, D.A., Tzompantzi, F., Gutiérrez-Alejandre.Aeso trato., Rico. J.L., González. H. (2017). ZnAl-Zr hydrotalcite-like compounds activated at low temperature as solid base catalyst for the transesterification of vegetable oils. Energy Procedia. 142, pp 582-589.
17. Caroline Burgess Clifford, S. R. (2020). The Reaction of Biodiésel: Transesterification. [En linea]. Disponible en https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/684. Fecha de consulta: 08 de enero de 2022.
18. Castellar, G., Angulo, E. R., Cardozo, B.M. (2014). “Transesterification vegetable oils using Heterogeneous catalysts”, *Prospect*, 12(2): 90-104.
19. Cortés-Sánchez, M., Gata-Montero, E., Pipió-Ternero, A., Rodríguez-Rivas, A., Sánchez-Santos, J. (2017). Biocombustibles: tipos y estrategias de producción. [En linea]. Disponible en: https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero35/Destacado-1.pdf. Fecha de consulta: 08 de enero de 2022.
20. Dahdah, E., Estephane, J., Haydar, R., Youssef, Y., Khoury, B.E., Gennequin, C., Aboukaïs, A., Abi-Aad, E., Aouad, E. (2020). Biodiésel





Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

production from refined sunflower oil over Ca–Mg–Al catalysts: Effect of the composition and the thermal treatment. *Renewable Energy*. 146: 1242-1248.

21. Demirbas, A., Bafail, A., Ahmad, W., Sheikh, M. (2016). Biodiésel production from non-edible plant oils. In *Energy Exploration and Exploitation*. 34(2): 290–318).
22. DOF, Diario Oficial de la Federación (2012). Ley General de Cambio Climático. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf. [En línea]. Fecha de consulta: 14 de Julio de 2014.
23. Du, L., Li, Z., Ding, S., Chen, C., Qu, S., Yi, W., Lu, J., Ding, J. (2019). Synthesis and characterization of carbon-based MgO catalysts for biodiésel production from castor oil. *Fuel.* 258,116122.
24. El Economista. (2011). Fracasa proyecto de biodiésel. [En línea]. Disponible en: http://eleconomista.com.mx/estados/. Fecha de consulta: enero 2022.
25. Energy Nouvelles (2021). Biofuels in the Road Transport Sector [En línea]. Disponible en: https://www.ifpenergiesnouvelles.com/article/biofuels-dashboard-2021 Fecha de consulta: abril 2022.
26. Ewunie, G. A., Morken, J., Lekang, O. I., Yigezu, Z. D. (2021). Factors affecting the potential of Jatropha curcas for sustainable biodiésel production: A critical review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 137.
27. Fontalvo-Gómez, M., Madrid De la Rosa, J., Mendoza-Meza, D. (2021). Producción de biodiésel a partir del aceite extraído de almendra del corozo



Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

Bactris guineensis asistida mediante ultrasonido de sonda directa*. Tecnura*, 25(69): 51-75.

28. García-Muentes, S., Sánchez, A., Labrada-Vázquez, B., Lafargue-Pérez, F., Díaz-Velázquez, M. (2028). Cinética de la reacción de transesterificación para la producción de biodiésel a partir del aceite de *Jatropha curcas L*., en la provincia de Manabí, Ecuador. *Tecnología Química.* 38, núm. 2.
29. Global Petrol Prices (2022). Diesel Prices in Europe per Litre[En línea]. Disponible en: https://www.globalpetrolprices.com/diesel_prices/Europe/ Fecha de consulta: abril 2022.
30. Gonçalves, M.A., Mares, K., Zamian, J.R., Narciso da Rocha, G., Vieira da Conceição, L.R. (2021). Statistical optimization of biodiésel production from waste cooking oil using magnetic acid heterogeneous catalyst $MoO_3/SrFe_2O_4$. *Fuel*. 304,121463.
31. Guo, M., Jiang, W., Ding, J., Lu, J. (2022). Highly active and recyclable CuO/ZnO as photocatalyst for transesterification of waste cooking oil to biodiésel and the kinetics. *Fuel*. 315. 123254.
32. Haas, M.J., McAloon, A.J., Yee, W.C., Foglia, T.A. (2006). A Process Model to Estimate Biodiésel Production Costs. *Bioresource Technology*. 97: 671-678.
33. Intermodal México (2022). Histórico de precios del diésel. [En línea]. Disponible en:




Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

https://www.intermodalmexico.com.mx/portal/ajustecombustible/historico Fecha de consulta: abril 2022.

34. Jamil, F., Kumar, P.S., Al-Haj, L., Myint, M.T., Ala'a, H. Al-Muhtaseb. (2021). Heterogeneous carbon-based catalyst modified by alkaline earth metal oxides for biodiésel production: Parametric and kinetic study.*Energy Conversion and Management: X.* 10.100047.

35. Jayakumar, M., Karmegam, N., Gundupalli, M.P., Gebeyehu, K.B., Asfaw, B.T., Chang, S.W., Ravindran, B., Awasthi, M.K. (2021). Heterogeneous base catalysts: Synthesis and application for biodiésel production – A review. *Bioresource Technology.* 331.125054.

36. Mongabay (2021). Biocombustible en México: la ardua lucha contra la burocracia, los impuestos y el crimen organizado [En línea]. Disponible en: https://es.mongabay.com/2021/08/biocombustible-mexico-burocracia-impuestos-crimen-organizado/ Fecha de consulta: abril 2022.

37. Morales, W., Polich, N., Sequeira, A., Chamorro, E., Herrero, E. (2010). Purificación de glicerol obtenido a partir de síntesis de biodiésel de aceite crudo de algodón. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 14.

38. MORECO. (2010). Clientes Moreco. [En línea]. Disponible en: http://www.moreco.com.mx/clientes/. Fecha de consulta: enero 2022.

39. Pamatz-Bolaños, T., Cabrera-Munguia, D. A., González, H., del Río, R. E., Rico, J. L., Rodríguez-García, G., Gutiérrez-Alejandre, A., Tzompantzi, F., Gómez-Hurtado, M. A. (2018). Transesterification of Caesalpinia eriostachys





Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

seed oil using heterogeneous and homogeneous basic catalysts. *International Journal of Green Energy*. 15(8).

40. Pamatz-Bolaños, T., Cabrera-Munguia, D.A., Gonzalez, H., del Rio, R.E., Rodrìguez-García, G., Gutiérrez-Alejandre, A., Tzompantzi, F., Gómez-Hurtado, M.A. Transesterification of *Caesalpinea eriostachys* seed oil using heterogeneous and homogeneous basic catalysts. *Int. J. Green Energy.*
41. Pavlović, S.M., Marinković, D.M., Kostić, M.D., Janković-Častvan, I.M., Mojović, L.V., Stanković, M.V., Veljković, V.B. (2020). A CaO/zeolite-based catalyst obtained from waste chicken eggshell and coal fly ash for biodiésel production. *Fuel.* 267.117171
42. Pavlović, S.M., Marinković, D.M., Kostić, M.D., Lončarević, D.R., Mojović, L.V., Stanković, M.V., Veljković, V.B. (2021).The chicken eggshell calcium oxide ultrasonically dispersed over lignite coal fly ash-based cancrinite zeolite support as a catalyst for biodiésel production. *Fuel*. 289. 119912.
43. Pérez, G., Islas, J., Guevara, M., & Suárez, R. (2019). The sustainable cultivation of Mexican nontoxic Jatropha curcas to produce biodiésel and food in marginal rural lands. *Sustainability (Switzerland)*. 11(20).
44. Prehn, M., Cumana I. (2010). La Bioenergía en México: Estudios de caso nº 1. [En linea]. Disponible en: https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2020/12/CT1.pdf. Fecha de consulta: enero 2022.
45. REMBIO, Red Mexicana de Bioenergia (2016). Diagnóstico de la Situación Actual de Biodiésel en México y escenarios para su aprovechamiento. [En



línea]. Disponible en: http://rembio.org.mx/en/situacion-actual-de-biodiésel-en-mexico-y-escenarios-para-su-mejora/ Fecha de consulta: abril 2022.

46. Renov México (2022). [En línea]. Disponible en: https://renovmexico.com/ Fecha de consulta: abril 2022.
47. Reyes-Trejo, B., Guerra-Ramírez, D., Zuleta-Prada, H., Cuevas-Sánchez, J. A., Reyes, L., Reyes-Chumacero, A., Rodríguez-Salazar, J. A. (2014). Annona diversifolia seed oil as a promising non-edible feedstock for biodiésel production. *Industrial Crops and Products*. 52, 400–404.
48. Rezania, S., Mahdinia, S., Oryani, B., Cho, J., Kwon, E., Bozorgian, A., Nodeh, H., Darajeh, N., Mehranzamir, K. (2022). Biodiésel production from wild mustard (Sinapis Arvensis) seed oil using a novel heterogeneous catalyst of LaTiO3 nanoparticles. *Fuel*. 307. 121759.
49. Rezania, S., Oryani, B., Park, J., Hashemi, B., Yadav, K. K., Kwon, E. E., Hur, J., Cho, J. (2019). Review on transesterification of non-edible sources for biodiésel production with a focus on economic aspects, fuel properties and by-product applications. In *Energy Conversion and Management* . 201.
50. Riesco-Ávila, J., Flores-Patiño, E., Elizalde-Blancas, F., Martínez-Martínez, S., Malagón-Romero*, D.* (2017). Evaluación del proceso de obtención de biodiésel a partir de aceites vegetales usados. Disponible en: http://somim.org.mx/memorias/memorias2017/ articulos/A4_212.pdf. Fecha de consulta: 08 de enero de 2022.

CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

51. Ríos, L., Castrillon, F., Zuleta-Suárez, E. (2009). Producción de biodiésel de aceite de palma con catalizadores básicos heterogéneos comparados con los homogéneos convencionales. *Energética*. (42),45-52.
52. SAGARPA, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017 – 2030. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/255627/Planeaci_n_Agr_cola_Nacional_2017-2030-_parte_uno.pdf. Fecha de consulta: enero 2022.
53. SAGARPA: Oleaginosas mexicanas, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017 – 2030. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256431/B_sico-Oleaginosas-parte_una.pdf. Fecha de consulta: enero 2022.
54. Sánchez-Arreola, E., Bach, H., Hernández, L. R. (2019). Biodiésel production from Cascabela ovata seed oil. *Bioresource Technology Reports*. 7.
55. Sayed, M.R., Abukhadra, M.R., Ahmed, S.A., Shaban, M., Javed, U., Betiha-M, A., Shim, J., Rabie, A.M. (2020). Synthesis of advanced MgAl-LDH based geopolymer as a potential catalyst in the conversion of waste sunflower oil into biodiésel: Response surface studies. *Fuel*. 282. 118865.
56. SENER, Secretaría de Energía Estados Unidos Mexicanos DOF (2018). Lineamientos por los que se establecen las especificaciones de calidad y características para etanol anhidro (bioetanol), biodiésel y bioturbosina puros

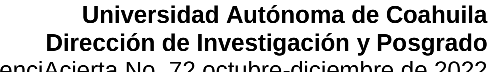
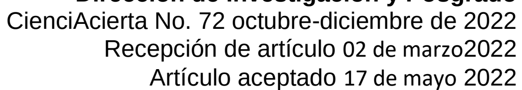


Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado
CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

[En línea]. Disponible en: http://sidof.segob.gob.mx/notas/5541659 Fecha de consulta: abril 2022.

57. SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2018). Palma africana o de aceite en México: cultivo tropical aceitero. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/siap/articulos/palma-africana-o-de-aceite-en-mexico-cultivo-tropical-aceitero?idiom=es. Fecha de consulta: enero 2022.
58. Singh, D., Sharma, D., Soni, S. L., Sharma, S., Kumar Sharma, P., Jhalani, A. (2020). A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiésel. In *Fuel*. 262.
59. Soloautos.mx (2018). Comparativo: Precios de la gasolina, 2016, 2017 y 2018. [En línea]. Disponible en: https://soloautos.mx/noticias/detalle/comparativo-precios-de-la-gasolina-2016-2017-y-2018/ED-LATAM-8608/ Fecha de consulta: abril 2022.
60. Sronsri, C., Sittipol, W., U-yen, K. (2021). Performance of CaO catalyst prepared from magnetic-derived CaCO3 for biodiésel production. *Fuel*. 304. 121419.
61. Sun, C., Qiu, F., Yang, D., Ye, B. (2014). Preparation of biodiésel from soybean oil catalyzed by Al-Ca hydrotalcite loaded with K_2CO_3 as heterogeneous solid base catalyst. *Fuel Processing Technology*. 126: 383-391.
62. Torres-Rodríguez, D. A., Romero-Ibarra, I. C., Ibarra, I. A., Pfeiffer, H. (2016). Biodiésel production from soybean and Jatropha oils using cesium




Universidad Autónoma de Coahuila
Dirección de Investigación y Posgrado

CienciAcierta No. 72 octubre-diciembre de 2022
Recepción de artículo 02 de marzo2022
Artículo aceptado 17 de mayo 2022
ISSN: 2683-1848

impregnated sodium zirconate as a heterogeneous base catalyst. *Renewable Energy*. 93: 323–331.

63. Toscano, L., Montero, G., Stoytcheva, M., Campbell, H., Lambert, A. (2011). Preliminary assessment of biodiésel generation from meat industry residues in Baja California, Mexico. In *Biomass and Bioenergy* . 35(1): 26–31.
64. Zhang, P., Chen, X., Leng, Y., Dong, Y., Jiang, P., Fan, P. (2020). Biodiésel production from palm oil and methanol via zeolite derived catalyst as a phase boundary catalyst: An optimization study by using response surface methodology. *Fuel*. 272. 117680.

